USO DE FLOCULADOR HIDRÁULICO DE MANTA DE LODO ACOPLADO A FLOTADOR POR AR DISSOLVIDO NO TRATAMENTO DE ÁGUA DE ABASTECIMENTO

Gilberto José da PAZ JUNIOR[(1)]
Engenheiro Civil pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – FEIS/UNESP. Mestre em Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Tecnologias Ambientais – Departamento de Engenharia Civil – FEIS/UNESP
Edson Pereira TANGERINO[(2)]
Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho – FEIS/UNESP

Endereço[(1)]**:** Rua Pirapitingui, 249, Ap. 36, Jd. Caiçara, Presidente Prudente – São Paulo, 19050-560 – Brasil Tel.:55 (18) 9725 7679. e-mail: gjpaz@sabesp.com.br

RESUMO

O presente projeto de pesquisa consistiu em experiência com floco-decantador de manta de lodo, contendo dispositivo limitador da manta, acoplado a flotador por ar dissolvido. O objetivo foi avaliar o desempenho da instalação proposta quando submetida a variações da qualidade da água bruta, principalmente quanto à sobrecarga de algas e cianobactérias, simulando possíveis florações nos mananciais. Os ensaios realizados com água natural com presença elevada de algas e cianobactérias evidenciaram a importância da unidade de flotação, com remoção de clorofila "a" de 82% na água decantada/flotada e próximo de 99% na água filtrada, em relação à água bruta, mantendo-se ainda a turbidez abaixo de 3 uT na saída do modulo floco-floto-decantador e abaixo de 0,6 uT na água filtrada.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de água, floculação manta de lodo, flotação por ar dissolvido e remoção de algas

INTRODUÇÃO

Problemas para atingir os padrões de potabilidade estão surgindo, dentre os quais Libânio (2005) destaca a presença de novos contaminantes (orgânicos, inorgânicos e até subprodutos de processos de tratamentos). Um indicativo são as novas tendências internacionais de regulamentação dos padrões de potabilidade da água.

Um adequado sistema de tratamento de água, de acordo com Di Bernardo (1995), deve embasar-se em três requisitos básicos obedecidos simultaneamente: qualidade da água bruta, tecnologia de tratamento e capacidade de sustentação do sistema.

Em estações de tratamento de água (ETA), água bruta de baixa qualidade – eutrofizada – ocasiona redução do tempo da carreira de filtração, aumento da dosagem de coagulantes, a geração de odores e sabores na água tratada, dificuldade de remoção das impurezas, problemas na unidade de sedimentação, e aumento da demanda de cloro na desinfecção e conseqüente formação de subprodutos nocivos à saúde humana.

Modificações no sistema de tratamento de água, que captam água bruta proveniente de lagoas ou reservatórios eutrofizados, são necessárias para atingir os padrões de qualidade requeridos pela legislação.

Atualmente, são utilizados vários processos ou tecnologias de tratamento de água para atingir padrões de potabilidade que dependem da qualidade e da quantidade da água a ser tratada. A maioria das ETAs em operação são convencionais de ciclo completo, compreendem as seguintes etapas do tratamento: coagulação, floculação, decantação, filtração rápida, desinfecção e fluoretação.

A presente pesquisa propôs um arranjo dos dispositivos de tratamento de água, utilizando um flotador por ar dissolvido (FAD) acoplado a um floco decantador de manta de lodo contendo dispositivo limitador da manta.

Teve como objetivo avaliar a associação da flotação por ar dissolvido como etapa de clarificação após um floculador de manta de lodo para tratamento de água nas seguintes circunstancias: água bruta preparada em laboratório com variações de turbidez; água bruta em condições naturais; e água bruta preparada com águas naturais com presença de algas.

REVISÃO DA LITERATURA

O sistema de tratamento, para obter água potável, considerado convencional é constituído por etapas, as quais cada uma tem uma função especifica para o resultado final. Temos as unidades de coagulação e floculação, que correspondem à formação dos flocos; sedimentação e filtração, remoção dos flocos e contaminantes; e desinfecção para eliminações de patogênicos e prevenções contra contaminações na rede.

Floculador de manta de lodo

Os floculadores podem ser mecânicos ou hidráulicos, são responsáveis pela realização de floculação da água coagulada, que consta do contato entre partículas presentes na água para formação de partículas maiores (flocos).

O floculador de manta de lodo utiliza energia hidráulica. Tem-se mostrado como alternativa de reduções da área física, de custos de implantação e operação. O processo se dá pela formação de uma manta de flocos de impurezas agregadas pelo coagulante, os quais são retidos na parte inferior desta unidade.

A formação dos flocos dá-se através de combinações de gradientes de velocidade médios no cone invertido. Devido a essa forma de cone invertido os flocos ao atingirem determinada dimensão e peso, tendem a sedimentar na região de menor velocidade ascensional, ocorrendo a decantação da água, por isso ficou conhecido como floco-decantador.

O bom funcionamento do mesmo dependerá de uma adequada mistura rápida, normalmente realizada em ressaltos provocados ou na saída do medidor Parshall, zonas de altas turbulências.

Em estudo realizado por Tangerino et al (1998), foi observado que a taxa de formação da manta no módulo aumentava conforme se aumentava a turbidez da água bruta.

Segundo Cavazzana (2006), a manta forma-se com maior intensidade para turbidez maior que 30 uT, conforme observado nos estudos em Módulo Floco-Decantador de Manta de Lodo (MFDML), em que o mecanismo de coagulação foi, predominantemente, a varredura.

Na pesquisa realizada por Tangerino et al (1998) foi mostrada a viabilidade da utilização de floculador em manta de lodo acoplado a decantador laminar de placas paralelas, com bons resultados em relação ao tempo de detenção da água no floculador.

Flotação por ar dissolvido

O processo do flotação consiste na mistura da água floculada com uma corrente de água super saturada com ar dissolvido. Fenômenos naturais de aderência provocam a ligação das micro-bolhas às partículas, produzindo uma baixa densidade aparente que as fazem ascenderem rapidamente à superfície da lâmina de água.

Segundo Lobato et al (1997) a água bruta, com elevada concentração de algas, apresenta condições mais favoráveis de tratamento com uso da flotação, após a coagulação/floculação, devido à baixa velocidade de sedimentação dos flocos formados.

Em pesquisa, Moruzzi (2005) cita como principais parâmetros para a unidade de FAD: tempo de detenção; taxa de aplicação superficial na zona de reação; taxa de aplicação superficial na zona de clarificação; fornecimento de ar em termos da razão de recirculação; Condições de floculação, tamanho de flocos.

No sistema de flotação, o lodo é extraído pela superfície, não ocorrendo entupimento de tubulações e não havendo necessidade de limpeza, diminuindo assim, a perda de água por meio do lodo descartado. Os requisitos de floculação são menores para o processo de flotação quando comparado com a decantação.

Zabel (1985), citado por Di Bernado et al. (2002), afirma que a flotação por ar dissolvido, como pré-tratamento na produção de água potável é indicada para águas contendo alta concentração de algas ou com turbidez relativamente baixa e cor relativamente alta.

Grande parte das fontes naturais de água, segundo Moruzzi et al (2008), principalmente aquelas oriundas de barragens naturais ou artificiais, apresentam valores moderados de cor e baixos de turbidez. Dependendo da freqüência de ocorrência de picos e variabilidade sazonal da fonte natural, águas com estas características poderiam ser tratadas por tecnologias que empregam a filtração direta descendente (FDD), filtração direta ascendente (FDA), dupla filtração (DF) ou mesmo por sistema composto por FAD seguido de filtração rápida descendente.

As principais etapas da flotação são: geração de bolhas de gás no sistema, contato dos agregados com as bolhas em ascensão.

Reali e Santos (1996) em estudo de flotação por ar dissolvido, apresentaram melhor desempenho com o fornecimento de ar na faixa de 2,7 a 4,7 g/m^3, para valores da taxa de aplicação superficial aparente, TAS_{AP}, de 220, 365 e 1020 m^3/m^2.dia, apresentando eficiência de remoção de clorofila-a entre 94 a 98 %. Ressalvam ainda, que existe um valor apropriado de fornecimento de quantidade de ar e sua variação acarreta queda na eficiência da flotação.

Estudos realizados por Centurione Filho et al (2002) avaliaram a aplicação do processo de flotação por ar dissolvido para remoção de algas em águas de cor verdadeira e turbidez relativamente baixa. Concluíram que, devido à sua baixa densidade relativa, a flotação é uma alternativa atrativa e conveniente para remoção de algas.

Em pesquisa realizada por Moruzzi e Reali (2008), para água com cor aparente moderada e turbidez baixa, a FAD, operada com sulfato de alumínio como coagulante, apresentou os menores valores de cor aparente e turbidez residuais, correspondentes a 2 uH e 0,24 uT, respectivamente, para a dosagem de 25 $mg.L^{-1}$ em pH em torno de 6,5.

Filtração descendente

A filtração consiste na remoção em meio granular de partículas suspensas e coloidais e de microrganismos presentes em águas, (Di BERNARDO; Di BERNARDO; CENTURIONE FILHO, 2002).

A filtração direta descendente, segundo Di Bernardo (2003), pode ser projetada para trabalhar ora com tratamento completo (coagulação, floculação, decantação ou flotação e filtração), ora com filtração direta, dependendo da sazonalidade da qualidade da água a ser tratada.

Dentre os fatores que influenciam no processo de filtração, temos: tipo de meio filtrante, velocidade de filtração, material suspenso, influência da temperatura e floco formado.

Em sua obra Valencia (1992), apresenta como vantagens na utilização da filtração direta, a diminuição em 50% do custo de construção da estação de tratamento, redução do custo operacional com diminuição quantitativa de coagulante e menor quantidade de lodo proveniente do tratamento quando comparada a uma ETA convencional. Ainda como desvantagens na presença de algas, a necessidade de dosagem química, carreiras de filtração curtas exigindo medidas rápidas no processo de tratamento.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa consistiu em experiência com floculador de manta de lodo acoplado a flotador, formando um conjunto composto pelos dois tipos de tecnologias e ainda com dispositivo limitador da altura da manta de lodo expandida conforme **Figura 1**.

A pesquisa foi realizada em três etapas:

Etapa 1, foram realizados ensaios com água preparada em laboratório.

Etapa 2, foram realizados ensaios com água natural captada em córrego natural localizado na cidade de Ilha Solteira.

Etapa 3, ensaios com água do mesmo manancial misturada com água proveniente de represa artificial, utilizada como tanque de piscicultura. Contendo elevada quantidade de algas e de outros produtos oriundos da atividade de criação dos peixes.

Modulo experimental

A instalação experimental para a realização da pesquisa foi constituída de um floculador de manta de lodo com dispositivo limitador da manta e um sistema de flotação por ar dissolvido, acoplado à sua parte superior. O esquema construído está apresentado na Figura 1.

A água para ensaio foi reservada em compartimento com dez mil litros, o qual abastece reservatório de mil litros onde é mantida sobre agitação. Deste ultimo é recalcada para reservatório de nível constante, cuja saída, era feita por dispositivo com orifício de altura regulável, para obtenção da vazão de projeto da instalação.

A aplicação do coagulante foi realizada na entrada da tubulação de alimentação do floculador de manta de lodo. A mistura rápida foi efetuada no vórtice formado na entrada deste. A água, previamente coagulada, alimentava o floculador pela parte inferior.

No interior do floculador de manta de lodo foi instalado um dispositivo limitador da manta, dispondo de registro de descarga de fundo para remoção do lodo.

A coleta de água clarificada foi realizada próxima a superfície da instalação piloto. A câmara de saturação foi abastecida com água tratada, por meio de bomba da água.

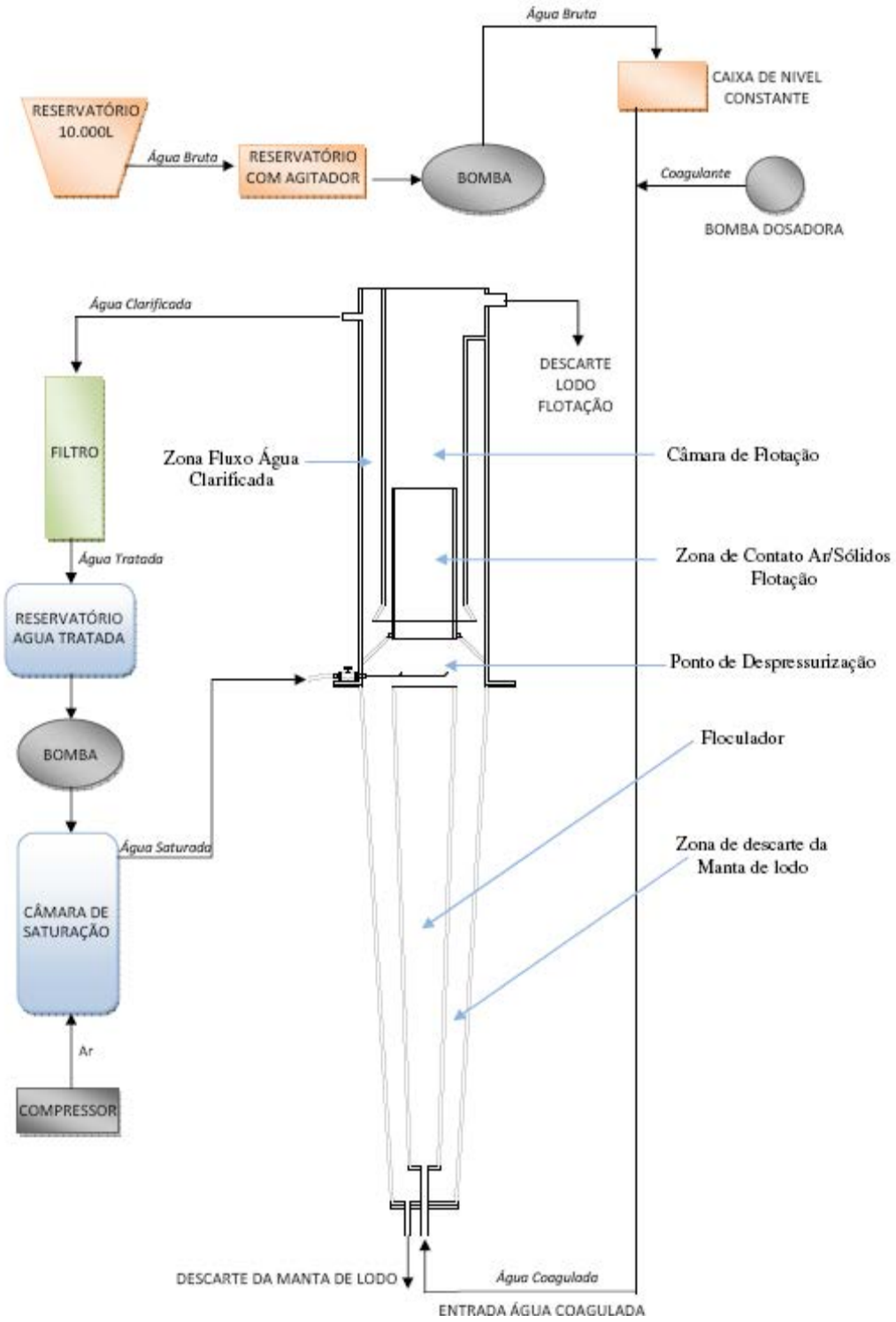


Figura 1 – Projeto de modulo experimental contendo unidade de tratamento e equipamentos utilizados.

Floco Decantador de Manta de Lodo

A unidade experimental do floculador de manta de lodo, possui as seguintes características:

Material: acrílico;

Tronco de pirâmide invertido externo com volume de 143,20 litros;

Tronco de pirâmide invertido interno com volume de 29 litros;

A taxa de aplicação superficial de 120 m^3/m^2.dia.

Flotador por Ar Dissolvido

A unidade experimental do flotador, possui as seguintes características:

Câmara de flotação externa com volume de 198,4 litros;

Câmara de flotação interna com volume de 67,6 litros

Volume total: 352,40 litros.

A taxa de aplicação superficial na câmara de flotação foi de 220 m^3/m^2.dia, no módulo correspondente à taxa no filtro de 120 m^3/m^2.dia.

Filtro Descendente

Foi construído filtro descendente. Composto de tubo de PVC de 200mm, com camada filtrante em areia com as seguintes características:

- espessura da camada: 0,60 m;

- coeficiente de desuniformidade: 1,6 (D60/D10);

- camada suporte: espessura de 45 cm;

- saída de água filtrada a 15 cm acima da camada filtrante;

- taxa superficial de aplicação constante foi de 120 m^3/m^2.dia.

Ensaios

Os ensaios foram realizados com taxa de filtração e floculação de 120 m^3/m^2.dia. Com taxa de recirculação da flotação entre 15% e 20%. A Figura 2 estão indicados os pontos de coleta de amostras.

Ponto 1 – AB - Água bruta;

Ponto 2 – DF - Água Decantada/Flotada;

Ponto 3 – FIL - Água filtrada;

Ponto 4 – LF - Água de descarte da flotação, lodo flotado;

Ponto 5 – SM - Amostra retirada próxima ao termino do cone interno de formação da manta de lodo.

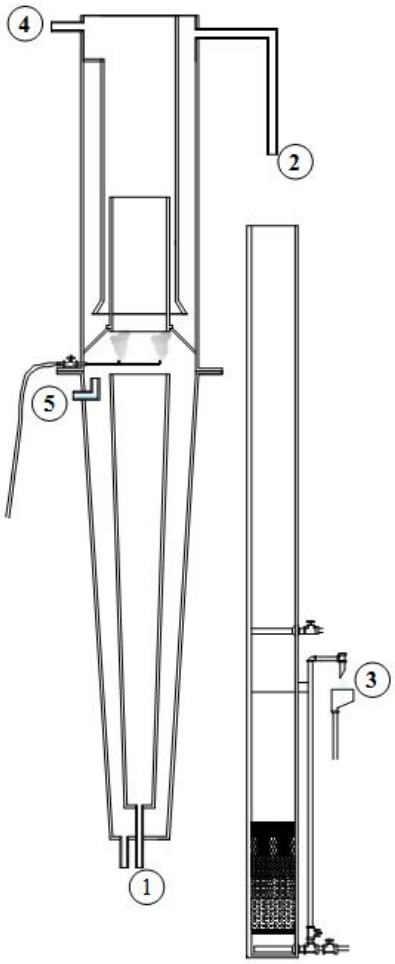


Figura 2 – Desenho esquemático do modulo da pesquisa com a localização dos pontos de coleta.

RESULTADO E DISCUSSÃO

Etapa 1

Ensaios no modulo experimental com água preparada, captada em poço artesiano com adição de argila, mostram a aplicabilidade do floculador de manta de lodo, com remoções de turbidez acima de 95%, e eficiência do dispositivo limitador da manta. A implantação desse dispositivo limita o crescimento da manta, impedindo que a mesma atinja a zona de flotação, propiciando a remoção do lodo sedimentado.

A água decantada/flotada (**DF**) apresentou valores de turbidez abaixo de 4 uT e água filtrada (**FIL**) abaixo de 1 uT. Recirculação de 18% na flotação. Na Figura 3 é mostrado o gráfico correspondente aos resultados de turbidez ao longo desse ensaio.

Para esse tipo de água o dispositivo de flotação não foi importante, já que os flocos formados a partir desse tipo de água não tinham a tendência de flotar e sim de sedimentarem. Durante ensaio a remoção de cor aparente foi máxima de 92% com média de 81%.

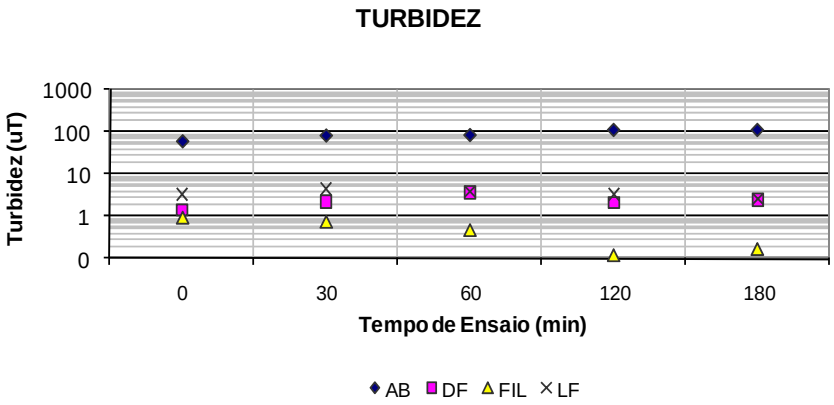


Figura 3: Valores de turbidez remanescente do segundo ensaio com água preparada. Taxa de 120 m^3/m^2.dia, com turbidez da água bruta acima de 150 uT, com DSA de 60 mg/L, recirculação de 18 %.

Etapa 2

Resultados dos ensaios preliminares em bancada, com uso do sulfato de alumínio, para água bruta captada em córrego natural demonstraram a necessidade de controle do pH através da aplicação de cal hidratada.

Durante a Primeira bateria, sem controle do pH, o valor da turbidez da água decantada ficou acima de 10 uT. Deve ser observado que o filtro apresentou bons resultados, mantendo a turbidez final abaixo de 1,0 uT durante todo o ensaio. Com a aplicação da cal hidratada junto com o sulfato de alumínio foi possível atingir eficiência de 91 % na remoção de valores de turbidez. A Tabela 01 abaixo mostra a aumento da eficiência da remoção de turbidez com a adição da cal hidratada, que não foi atingida antes apenas com o aumento da dosagem do coagulante.

Tabela 01 – Valores de dosagem do coagulante, pH e de eficiência na remoção de turbidez (ERT), entre AB e DF, em amostra coletadas durante segundo ensaio ETAPA 2 .

Tempo Ensaio	DSA	pH		E.R.T.
(min)	(mg/L)	**AB**	**DF**	(%)
60	70	7,81	6,37	69,47
300	90	7,49	5,68	46,42
480	100	7,80	5,50	40,35
780	**100***	**7,82**	**6,54**	**89,39**

***** Ponto com aplicação de cal hidratada junto com o coagulante.

Na Segunda bateria ocorreu remoção de organismos e algas com eficiência de 99 %. Atingindo 100 % na água filtrada. A remoção na água decantada, apos o flotador, foi de 96% para cor verdadeira, de até 99% para cor aparente e próximo a 100% para absorvância. Apos o filtro a remoção de cor verdadeira foi 92%, cor aparente até 99% e absorvância de 100%. Os valores de turbidez foram mantidos abaixo de 5 uT na entrada do filtro.

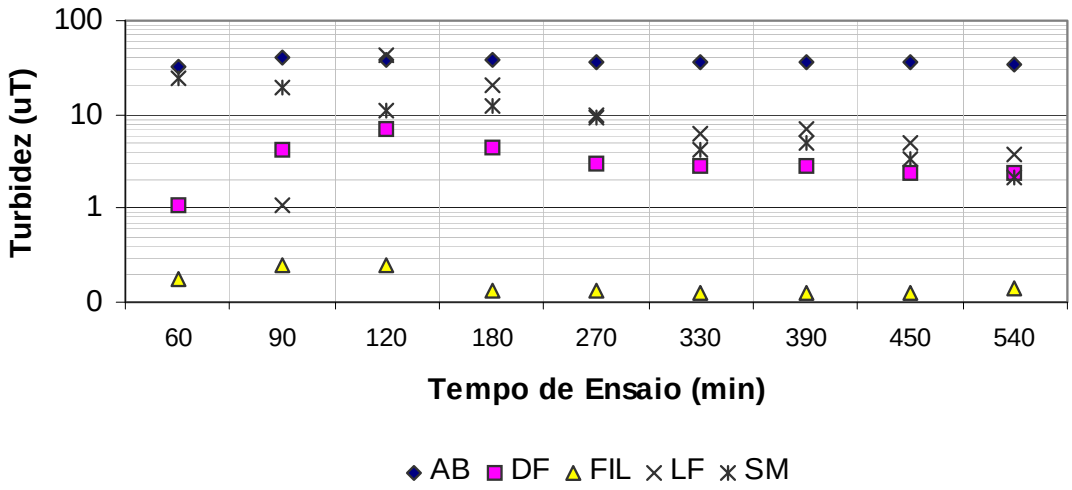


Figura 4 – Valores de turbidez remanescente do segundo ensaio da segunda bateria ETAPA 2. Taxa de 120 m^3/m^2.dia, DSA inicial de 55 mg/L final, recirculação de 15% na unidade de FAD

Etapa 3

Nesta etapa foi utilizada água preparada através da mistura de água de córrego, apresentando turbidez moderada, e de reservatório com concentração elevada de algas. Foram realizadas duas baterias de ensaios. A primeira com turbidez abaixo de 100 uT e a segunda acima de 200 uT. A água continha organismos das classes: Bacillaryophyceae, Chlorophyceae e Cyanophyceae.

Na primeira bateria durante ensaio apresentou valores de turbidez abaixo de 3,0 uT, enquanto que a água filtrada abaixo de 1,0 uT. Com remoção média de 98% de cor verdadeira na água decantada, com remoção média de 95% de cor aparente e de 83% de absorvância. Na água filtrada apresentou 98% de remoção em ensaios de cor aparente.

A remoção de absorvância verificada foi de aproximadamente 80% no efluente da instalação piloto. Ensaios de clorofila-a demonstraram remoção de 82% em água decantada, atingindo 99% na água filtrada**.** Os ensaios de contagem demonstram remoção de 99% de células confirmando os resultados de clorofila demonstrando a eficiência do processo.

Na segunda bateria a água bruta apresentou turbidez acima de 200 uT (Figura 4). Resultados para água decantada apresentaram eficiências de 98, 98, 97, 77 e 93% em remoção de turbidez, cor aparente, cor verdadeira, absorvância e clorofila “a” respectivamente.

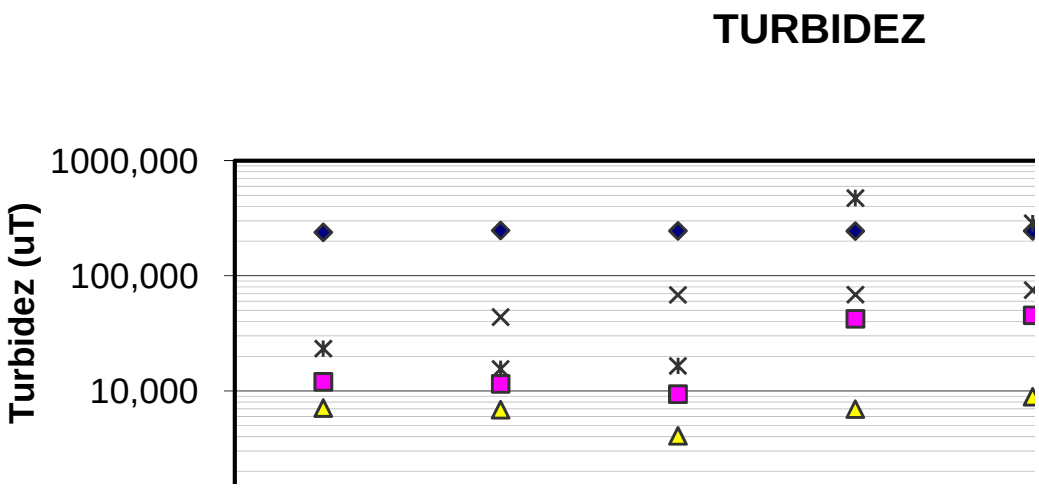


Figura 5 – Valores de turbidez, quarto dia de ensaio, segunda bateria da terceira fase. Taxa de 120 m^3/m^2.dia; DSA de 30-40 mg/L. Recirculação de 15-25% na FAD.

Na água filtrada eficiência de 99% de remoção de turbidez e cor aparente, 85% de cor verdadeira, 66% de absorvância e 98% de clorofila.Nos ensaios de contagem de organismos foi atingida remoção de 97 % na água decantada e 100 % na água filtrada.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Durante a primeira etapa foi possível obter resultados satisfatórios para o tratamento de água. Sendo o dispositivo limitador de manta eficaz. A unidade de flotação sem eficiência nesta etapa.
Na segunda etapa para atingir resultados satisfatórios foi necessária a adição de cal hidratada. O dispositivo limitador de manta trabalhou de forma eficaz. A unidade de flotação pouco solicitada nesta etapa trabalhou como auxiliar.
Já na terceira etapa resultados satisfatórios foram atingidos na primeira bateria de ensaios, sendo utilizado o dispositivo limitador de manta de forma apropriada. A unidade de flotação funcionou de forma prioritária para remoção de algas e organismos presentes. Na segunda bateria desta etapa apesar e níveis acima dos apropriados a flotação removeu algas e organismos não removidos no floculador de manta de lodo.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Cavazzana, T. L. (2006) *Ampliação de escala de um floco decantador de manta de lodo no tratamento de lodo no tratamento de água de abastecimento.* Dissertação de Mestrado Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista – Unesp. Ilha Solteira
2. Centurione Filho, P.L.; Di Bernardo, L. (2002) *Coagulação, floculação, flotação e filtração de água proveniente de lago utilizando equipamento de bancada.* In: SIMPÓSIO ÍTALO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 6., Vitória. Rio de Janeiro: ABES.
3. Di Bernardo, L. (1995) *Algas e suas influências na qualidade das águas e nas tecnologias de tratamento.* Rio de Janeiro: Abes - Associação Brasileira Sanitária e Ambiental.

4. Di Bernardo, L. (2003). *Tratamento de água para abastecimento por filtração direta.* Rio de Janeiro: Prosab. Rio de Janeiro.

5. Di Bernardo, L.; Di Bernardo, A.; Centurione Filho, P. L. (2002). *Ensaios de tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água.* São Carlos: Rima. São Carlos.

6. Libânio, M. (2005). *Fundamentos de qualidade e tratamento de água.* Campinas: Átomo. Campinas.

7. Lobato, S.J.M.; Faitanin, L.; Moreschi, V. (1997) *Implantação do processo de flotação por ar.* In: CONGRESSO BRASILIERO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 19. Foz do Iguaçu. Foz do Iguaçu.

8. Moruzzi, R.B. (2005) *Avaliação da influencia da distribuição de tamanho de partículas e do binômio velocidade/tempo de detenção na zona de reação no desempenho da flotação com utilização de sonda ultrasônica e técnica de análise por imagem*. 2005. 240 f. Tese de Doutorado, Curso de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica E Saneamento Da Escola De Engenharia De São Carlos, Universidade De São Paulo. São Carlos.

9. Moruzzi, R.B.; Reali, M.A.P. (2008) *Investigação da coagulação e floculação adequadas para a FAD no tratamento de água com cor aparente moderada e baixa turbidez destinada ao abastecimento público***.** Revista Teoria e Prática na Engenharia Civil, Brasil, v. 8, n. 11, p. 55-66. Brasil

10. Reali, M.A.P.; Santos, S.P. (1996) *Flotação por ar dissolvido em escala piloto com escoamento vertical entre placas para remoção de algas em águas de abastecimento*, In: CONGRESO INTERNACIONAL-AIDIS, 25, 1996, Anais. México.

11. Tangerino, E.P.; Matsumoto, T.; Dall´Aglio Sobrinho, M. (1998) *Floculador de manta de lodo associado a decantador laminar em tratamento de água.* In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, Lima. Anais... Lima [S.n.], 1998. p. 100 - 107. Lima.

12. Valencia, J.A. (1992) *Teoría y práctica de la purificación del agua.* Colombia: Acodal - Asociacion Colombiana de Ingenieria Sanitaria Y Ambiental, 1992. v.2, 793 p. Colombia.